

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-320948

(43)公開日 平成8年(1996)12月3日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 06 T 17/20			G 06 F 15/60	6 1 2 J
G 06 F 17/00		9168-5L	15/20	D
17/50			15/60	6 2 6 G

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 13 頁)

(21)出願番号	特願平7-127754	(71)出願人	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(22)出願日	平成7年(1995)5月26日	(72)発明者	小林 千恵 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内
		(72)発明者	西垣 一朗 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内
		(72)発明者	山下 穎文 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町5030番地 株式会社日立製作所ソフトウェア開発本部内
		(74)代理人	弁理士 小川 勝男
			最終頁に続く

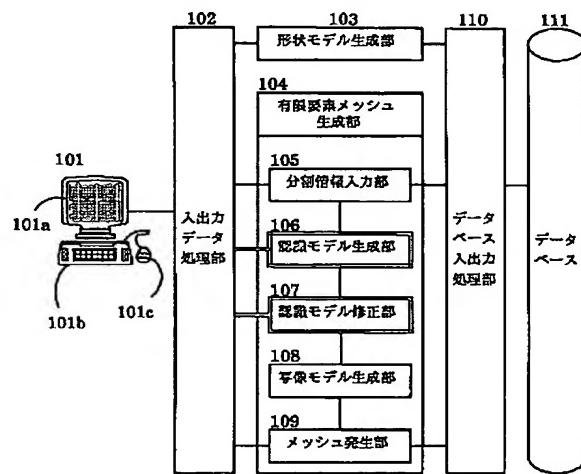
(54)【発明の名称】 数値解析用メッシュ生成方法及び生成装置

## (57)【要約】

【構成】システム使用者が入出力装置101から入力したデータを入出力データ処理部102で処理し、形状モデル生成部103で解析対象の形状モデルデータを生成する。次いで、システム使用者が入出力装置101から入力した分割情報に基づき、有限要素メッシュ生成部104によって形状モデルに有限要素メッシュを発生させる。この過程で生成される認識モデルの線分割担当方向を認識モデル生成部106で表示して、割担当方向を認識モデル修正部107でシステム使用者が対話的に入出力装置101から修正できるようにし、最適化された認識モデルから生成された有限要素モデルデータをデータベース入出力処理部110を介してデータベース111に登録する。

【効果】本発明により、容易に3次元形状モデルに生成したメッシュの配置や形状を制御して、精度良く解析するためのメッシュを効率的に生成することが可能となる。

図1 システム構成図



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 解析対象の形状モデルデータと、解析対象の数値解析用メッシュを生成するための分割制御データとを入力後、前記形状モデルの線分を直交座標系のいずれかの座標軸方向に割当てた近似形状モデルである認識モデルを生成し、該認識モデルの少なくとも表面に直交格子を発生させた写像モデルを生成し、該写像モデルの格子点を前記形状モデルに写像した数値解析用モデルの生成を行う数値解析用モデル生成方法において、システム使用者が前記各モデルの生成段階のうち、少なくともいずれか一つの段階に介入してモデルの変更が可能なことを特徴とする数値解析用メッシュ生成方法。

【請求項2】 表面及び内部に直交格子を発生させた写像モデルを生成することを特徴とする請求項1記載の数値解析用メッシュ生成方法。

【請求項3】 請求項1記載の数値解析用メッシュ生成方法の各モデル生成段階における分割パラメタを前記システムが決定する前に前記使用者が介入して前記分割パラメタを拘束し、及び／または該分割パラメタの決定途中或いは決定後に前記使用者が介入して、前記分割パラメタの変更が可能なことを特徴とする数値解析用メッシュ生成方法。

【請求項4】 請求項1記載の数値解析用メッシュ生成方法において、前記認識モデルをシステムが生成する際に、該認識モデル生成に必要な分割パラメタである線分の割当て方向を生成前に、システム使用者が拘束した方向で認識モデルを生成し、及び／または全線分の割当て方向を決定する途中、或いは全線分の割当て方向決定後に生成された認識モデル形状を確認後、全てまたは一部の線分割当方向を変更して該認識モデルを再生成することを特徴とする数値解析用メッシュ生成方法。

【請求項5】 各段階における分割パラメタの変更を対話的操縦によって実現することを特徴とする請求項3記載の数値解析用メッシュ生成方法。

【請求項6】 解析対象形状モデルの各線分の割当て方向を、画面の形状モデル上に、線分の線種を変化させてシステム使用者が識別できる形で表示し、割当て方向の変更を支援することを特徴とする請求項4記載の数値解析用メッシュ生成方法。

【請求項7】 認識モデルを生成するために、形状モデルの線分を直交座標系に方向割当てする際、方向割当てに失敗して決定できなかった線分を他の線分と区別して表示することを特徴とする請求項3記載の数値解析用メッシュ生成方法。

【請求項8】 写像法によって形状を六面体要素のみに自動分割するメッシュ生成装置において、形状モデルの線分が自動的には写像モデルに割り当てられない線分を他の線分と区別する手段を設けたことを特徴とする数値解析用メッシュ生成装置。

【請求項9】 決定された各線分の割当て方向を画面の形

2

状モデル上に表示し、該形状モデルの線分を指示して、指示線分の割当て方向を拘束及び／または特定することにより、メッシュの配置や形状を変更する手段を設けたことを特徴とする請求項3記載の数値解析用メッシュ生成方法。

【請求項10】 解析対象の形状モデルと数値解析用メッシュを生成するための分割情報を入力し、該形状モデルの線分を直交座標系のいずれかの座標軸方向に割り当てた認識モデルを生成する過程で、システムが自動決定した値のみでなくシステム使用者があらかじめ指定した値を使用可能にした上で認識モデルを生成し、及び／または該割当て方向を画面上に表示し、該割当て方向をシステム使用者が対話的な操作で変更することにより認識モデル形状を制御した後、変更後の認識モデルの少なくとも表面に直交格子を発生させた写像モデルを生成し、該写像モデルの少なくとも表面の格子点を該形状モデルに写像して数値解析用モデルを生成することを特徴とする数値解析用モデル生成方法。

【請求項11】 解析対象の形状モデルを作成する手段と、解析対象の数値解析用メッシュを生成するための分割情報を入力する手段と、前記形状モデルの線分を直交座標系のいずれかの座標軸方向に割り当てた近似形状である認識モデルを生成する手段と、該認識モデルにおいて決定された割当て方向を画面に表示する手段と、該割当て方向を対話的な操作で拘束及び／または変更することにより認識モデル形状を修正する手段と、修正後の認識モデルの少なくとも表面に直交格子を発生させた写像モデルを生成する手段と、該写像モデルの少なくとも表面の格子点を前記形状モデルに写像し数値解析用モデルを生成する手段と、数値解析用モデル生成後再び前記認識モデルを生成する手段に戻れる手段とを備えることを特徴とする数値解析用メッシュ生成装置。

【請求項12】 表面及び内部に直交格子を発生させた写像モデルを生成することを特徴とする請求項9記載の数値解析用メッシュ生成方法。

【請求項13】 解析対象の形状モデルデータと、解析対象の有限要素メッシュを生成するための分割制御データとを入力後、前記形状モデルの線分を直交座標系のいずれかの座標軸方向に割り当てた近似形状モデルである認識モデルを生成し、該認識モデルの表面及び内部に直交格子を発生させた写像モデルを生成し、該写像モデルの格子点を前記形状モデルに写像した数値解析用モデルの生成を行う数値解析用モデル生成方法において、システム使用者が前記各モデルの生成段階のうち、少なくともいずれか一つの段階に介入してモデルの変更が可能なことを特徴とする有限要素メッシュ生成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、数値解析で用いるメッシュの生成方法に係わる。特に、解析対象の形状モデル

から自動的にメッシュを生成する過程に、システム使用者が対話的に介在し、その配置や形状を制御する方法に関する。

#### 【0002】

【従来の技術】従来、現象の数値シミュレーション解析の高効率化のために、写像法を用いて解析対象の形状モデル上に有限要素メッシュを生成して、より計算精度や計算効率を高めることを目的とする「形状認識を用いた三次元自動要素分割システムの開発」高橋宏明、清水ひろみ他 日本機械学会論文集 59巻560号 p. 279-285 1993-4、特開平1-311373号公報及び特開平2-236677号公報に記載のメッシング方法に代表されるような、自動メッシュ生成法があり、すでに実現されている。

【0003】また写像法を用いた有限要素メッシュ生成法としては、システムのデータベース内に用意された定形の写像モデルのパターンからユーザが不要なメッシュを取り除き、形状モデルに適応した写像モデルを生成することにより、計算精度や計算効率を高めることを目的とする特開平5-2627号公報に記載のメッシング方法に代表されるような半自動メッシュ生成法もある。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来の自動メッシュ生成法の技術において画面上に表示されるのは、解析対象形状モデルと最終結果であるメッシュ生成モデルのみで、途中で生成されるモデルは全てシステム内部で自動処理されるため、システム使用者はメッシュ生成過程に介入して途中経過情報を得ることができず、システムの決定に従わざるを得なかった。また、半自動メッシュ生成法を用いても、適応できる形状モデルパターンには限界があった。

【0005】これに対し、形状モデルの複雑化にともない、システムの内部処理部分である直交座標空間への写像過程で形状モデルとの矛盾がないように各線分を写像する方向を決定することができず、認識モデルを生成できなかったり、メッシュが生成できても非常に歪んだ要素を含んでしまったり、自動で決定した写像方向ではシステム使用者の要求とは異なったメッシュが生成される場合があった。従来のシステムにおいては、認識モデルを生成できなかった場合、画面上にエラーメッセージを表示して処理を中断していた。このためシステム使用者は、初期状態まで戻って形状モデルのエラー原因部分を経験的に修正するか、システムが生成したメッシュに従うしかなかった。

【0006】また、結果的に歪んでしまった要素を修正したい場合も、同様に初期状態に戻って形状モデルや分割数を変更しなければならなかった。上述のような方法は、モデルが複雑になるほど、煩雑で時間と手間のかかる作業を必要としていた。一方、写像モデルのパターンを用意し、そのパターンを形状モデルに合うように半自

動で要素単位に制御する方法もモデルの複雑化への対応に限界があった。これらの問題を解決し、容易かつ確実にメッシュ生成するための一手法として、メッシュ生成過程で自動処理中に発生する問題を取り除きシステム使用者が形状モデルの変更をすることなく希望するメッシュを生成できるようにするために、システムへの対話的ユーザ介入方式の導入が課題となっていた。

【0007】本発明の目的は、製品設計の省力化及び新製品の開発力強化支援を図る解析用メッシュモデル自動作成システムの高度化であり、システムで分割パラメタを決定する前中後にシステム使用者の介入余地を作つてシステム使用者の経験的な最適値を取り入れることによって、生成されるメッシュの形状や配置を制御して計算精度を向上させる方法及びアルゴリズムを提供することにある。

【0008】即ち、前出のメッシュモデル自動作成システムにおいて、メッシュ生成過程のものとの形状を認識して直交座標空間に写像した認識モデルを生成する段階の場合、直交座標空間に写像する際の各線分の割当方向を画面上に表示して、システム使用者が写像過程に介入して線分の割当方向を拘束或いは変更することによって、認識モデルの形状を制御して自動メッシュ生成を援助し、初期状態まで戻っての煩雑な形状モデル変更作業にわずらわされることなく複雑な形状モデルでも容易にメッシュを生成したり、生成されたメッシュの形状や配置の制御を可能にすることである。

#### 【0009】

【課題を解決するための手段】上記の目的は、要素生成過程において認識モデル生成過程の前中後で形状モデルの各線分の割当方向を画面に表示し、割当方向を対話的な操作で拘束或いは変更できることによって達成される。

【0010】システム使用者が変更方法をメニューから選択した後、割当方向を色別表示した形状モデルの各線分をマウスで選択し、制御方向をキーボードから入力した場合、その制御方向に対応して画面上の割当方向の色や方向を示す値を変更させて再表示する。同時にその時の認識モデルに対応した、予想される形状モデル上の生成メッシュも仮表示して変更の影響を明確にする。

【0011】このように、生成過程において、システム使用者が容易な変更を加えるだけで、初期設定の形状モデルまで戻って変更する必要をなくすことによって効率的に数値解析用メッシュを生成し、そのメッシュ形状や配置を制御することを可能とする。

【0012】本発明の数値解析用メッシュ生成方法は、解析対象の形状モデルと数値解析用メッシュを生成する

ための分割制御データを入力し、形状モデルの線分を直交座標系のいずれかの座標軸方向に割り当てた形状モデルと線分の接続関係が等しい認識モデルを生成し、認識モデルの少なくとも表面に直交格子を発生させた写像モデルを生成し、写像モデルの少なくとも表面の格子点を形状モデルに写像し数値解析用モデルを生成する数値解析用モデル生成方法において、形状モデルから認識モデルを生成する過程で決定される各線分の割当て方向を画面に表示し、割当て方向を対話的な操作で拘束或いは変更することにより数値解析用メッシュを制御する手段を設けることを特徴とする。この場合、割当て方向を矛盾なく決定できない部分の線分の線種を変化させて表示する手段を設けることが好ましい。また、決定された割当て方向を画面の形状モデル上に表示し、形状モデルの線分を指示して、指示線分の割当て方向を拘束または変更することにより、メッシュの配置や形状を変更する手段を設けることが好ましい。また、決定された割当て方向を画面の形状モデル上に表示し、形状モデルの線分を指示して、指示線分の割当て方向を示す値を入力することにより、メッシュの配置や形状を変更する手段を設けることが望ましい。

【0013】尚、本願明細書において、モデルとは、形状を表現する数値データの集合のことである。形状モデルとはシステム使用者が作成した、解析対象を3次元空間上に線分を用いて表現したモデルである。本願明細書において線分とは、曲線も含む有限な長さの線のことである。形状モデルの形或いは領域を特定するための線分のうち構造物の形を特定する線分を稜線と呼ぶ。認識モデルとは、形状モデルの線分を直交座標系のいずれかの座標軸方向と平行になるように変換した、形状モデルと線分の接続関係が等しいモデルである。写像モデルとは、認識モデルの表面及び必要な場合は内部に直交格子を発生させたモデルである。有限要素モデルとは、写像モデルの表面及び必要な場合は内部の格子点を形状モデルに写像し有限要素法の解析に入力できる形に変換したモデルである。また、割当て方向とは、認識モデル生成のために、形状モデルの各線分を直交写像空間に写像した場合に平行となる座標軸の方向のことである。また、分割パラメタとは、分割数や線分割当方向のことである。また、線種を変更する或いは他の線分と区別することは、線の太さ、色、実線と破線を変化させる及び／または矢印で示すことである。

#### 【0014】

【作用】解析対象の形状モデルとメッシュを生成するための分割制御データを入力し、形状モデルの線分を直交座標系のいずれかの座標軸方向に割り当てた形状モデルと線分の接続関係が等しい認識モデルを生成し、認識モデルの表面及び必要な場合は内部に直交格子を発生させた写像モデルを生成する。形状モデルから認識モデルを生成する際に決定する各線分の割当て方向を画面上に、

各線分の割当て方向を示す値とともに色別表示し、システム使用者の対話的操による割当て方向の拘束及び変更を可能とする。拘束及び変更後に、生成された認識モデルに基づいて生成した写像モデルの表面及び必要な場合は内部の格子点を形状モデルに写像しメッシュモデルを生成する。

#### 【0015】

【実施例】本発明は、3次元ソリッド形状モデルを曲線座標変換法を用いて要素に分割する過程において、直交座標軸に平行な線分のみからなる認識モデルを生成する際に、形状モデル上に対話的な操作で、各線分に対する平行軸方向を指定することにより、認識モデルを単位立方体の集合に分割して生成される写像モデルの形状を制御し、メッシュの配置を制御する方法に関する。

【0016】以下本発明を有限要素法に用いた実施例によって、図面を用いて説明する。△本発明の一実施例を図1～6において説明する。△図1は、本実施例を実現するためのシステム構成図である。

【0017】本システムは、形状モデル等を画面上に表示するためのCRTディスプレイ101aと、システム使用者がモデルデータや分割制御データである数値を入力するためのキーボード101b、及びマウス101cとから構成される入出力装置101と、対話型プログラムの入力デバイスの制御及び図形出力の制御を行う入出力データ処理部102と、入出力データ処理部102で処理されたデータに基づき、システム使用者が上記のデバイスから入力した数値を用いて形状モデルデータを作成する形状モデル生成部103と、形状モデルに有限要素メッシュを生成する有限要素メッシュ生成部104と、各生成部で生成されたデータのデータベース111への格納及びデータベースからの取り出しをするデータベース入出力処理部110とから構成される。

【0018】システム使用者が入出力装置101のキーボード101bやマウス101cを用いて入力した形状モデル生成用データを、入出力データ処理部102で処理し、次いで形状モデル生成部103で形状モデルデータを生成したあとデータベース入出力処理部110を介してデータベース111内に格納する。形状モデルに有限要素メッシュを生成させる有限要素メッシュ生成部104は、要素単位等の分割に必要な情報を入力する分割情報入力部105、線分の写像方向等の情報を入出力し、かつ形状モデルと稜線の接続関係が等しい認識モデルを生成する認識モデル生成部106、生成された認識モデルに関する情報をCRTディスプレイ101aの画面上に表示し、対話形式で認識モデル形状を変更する認識モデル修正部107、認識モデルの表面及び内部に直交格子を発生させた写像モデルを生成する写像モデル生成部108、写像モデルの表面及び内部の格子点を形状モデルに写像し、有限要素モデルを生成し、生成した有限要素モデルを画面上に表示するメッシュ発生部109

から構成される。

【0019】システム使用者が入出力装置101のキーボード101bやマウス101cを用いて入力した分割情報用データや線分割当て方向データは、入出力データ処理部102を介して分割情報入力部105で形状モデルと対応付けた後、データベース入出力処理部110を介してデータベース111内に格納する。また、システムまたはシステム使用者が決定した形状モデルの各稜線の割当て方向は、入出力データ処理部102を介してCRTディスプレイ101aの画面上に表示し、表示された情報をシステム使用者がキーボード101bやマウス101cによって変更した場合、そのデータは再び入出力データ処理部102を介して認識モデル生成部106及び認識モデル修正部107で認識モデル生成のためのデータとして使われる。システム使用者からの変更がなければ、認識モデルに基づき写像モデル生成部108によって認識モデルの表面及び内部に直交格子を発生させた写像モデルを生成し、メッシュ発生部109によって、写像モデルの表面及び内部の格子点を形状モデルに写像し有限要素モデルを生成する。生成した有限要素モデルを画面上に表示した後、メッシュデータは、データベース入出力処理部110を介してデータベース111に格納する。

【0020】また、本システムを実現するためのソフトウェアのシステム使用者への提供媒体は、磁気テープでも磁気ディスクでも光ディスクでも可能とする。

【0021】図2は、本実施例の基本となる従来の有限要素メッシュ生成の全体フローチャートであり、図3～6は、その各過程で生成されるモデルを示す。それぞれを対応付けながら、本実施例の核となる従来の有限要素生成法について説明する。

【0022】(基本1) 有限要素法による解析の対象となる形状モデルを設定する(ST1、図3)。

【0023】(基本2) 有限要素メッシュを生成するための分割情報を入力後、形状モデルから、直交座標軸に平行な線分のみで構成されることを特徴とした、もとの形状に位相的に等しくかつ幾何的に最も近いモデルを生成する。以下このモデルを「認識モデル」と呼ぶ(ST2、図4)。

【0024】認識モデルを生成するとき、各稜線が平行になるべき直交座標軸の方向を「線分の割当て方向」、割当て方向を決定することを「線分の方向割当てを行う」と呼ぶ。

【0025】(基本3) 前記分割情報に基づき、認識モデルを単位要素長さの整数倍の線分のみから構成されるように微調整した後、認識モデルに直交格子を発生させて写像モデルを生成する(ST3、図5)。

【0026】(基本4) 前記(基本3)で求めた写像モデルの境界の格子と形状モデルの境界の格子との対応関係から形状モデル内部に格子を発生させ、有限要素メッシュモデルを生成する(ST4、図6)。

シムモデルを生成する(ST4、図6)。

【0027】本実施例に関する、上記(基本2)の過程について詳細を説明する。

【0028】図7に、認識モデル生成のフローチャートを示す。(基本2)において認識モデルは、形状モデルを構成する各線分に、写像空間を構成する3座標軸( $\alpha, \beta, \gamma$ )のいずれかの方向と、認識モデル上で線分長さとを割り当てることによって生成する。線分の方向割当てを行うにあたっては、まず各線分の $\alpha, \beta, \gamma$ 軸それぞれに割り当てる初期値となる方向を決定する(ST5)。次に接続している線分の影響を考慮して、各線分の割当て方向を修正する(ST6)。この結果に基づき、形状モデルを構成する各面に関して、認識モデル内における3平面( $\alpha-\beta$ 面、 $\beta-\gamma$ 面、 $\gamma-\alpha$ 面)、いずれかの面への対応付けを行う(ST7)。以上の手順によって、すべての線分の割当て方向を決定した後、認識モデルにおける各線分への長さの割当てを、形状モデルの線分長の比に基づいて決定する(ST8)。

【0029】図8は、形状モデルに曲面が含まれる場合の認識モデル生成の仕方である。図8(a)のようなモデルの場合は、曲面を図8(b)のように複数の平面で近似し、その結果生成された各線分に関して図8(c)のように方向割当てと長さ割当てを行う。

【0030】次に、線分の自動方向割当ての手順(ST5～ST6)を詳細に説明する。△ST5ではまず、各線分が $\alpha, \beta, \gamma$ 軸それぞれに割り当てる可能性を示す、各軸への適応度をファジィ理論におけるメンバシップ関数を用いて設定する。適応度の初期値は、線分が、実空間を構成する3座標軸である $x, y, z$ 軸となす角度を独立変数としたメンバシップ関数によって求める。図9(a)のメンバシップ関数は、 $\alpha$ 軸方向への適応度を示しており、 $\beta, \gamma$ 軸方向に関しても、同じ関数を定義する。図9(a)で、 $\theta_\alpha$ は対象とする線分と $x$ 軸とがなす角度を示し、 $P_\alpha$ は $\alpha$ 軸方向への適応度を示す。同様に $\beta$ 、並びに $\gamma$ 軸方向への適応度の初期値も、それぞれ線分が $y$ 、並びに $z$ 軸方向となす角度をもとにして求める。

【0031】次にST6で、接続している線分の影響によって、各線分の適応度を修正する。図9は、稜線、面の割当て方向決定に使用するメンバシップ関数を示したものである。まず、図9(b)に示すように、隣り合う2線分が同じ方向に割り当てる可能性を示すメンバシップ関数を定義する。 $\theta_\alpha$ は2線分のなす内角の大きさを示し、 $P_\alpha$ は2線分が同じ方向に割り当てる可能性を示す。図10に示すように、空間上に2線分10A、10Bが設定されるとき、線分10Aの影響による線分10Bの適応度の修正は、線分10A、10Bそれぞれの軸方向への初期適応度と、 $\theta_\alpha$ による線分10A、10Bのお互いに対する影響力の大きさとを考慮した最適値を選ぶことによって実行する。

【0032】尚、方向割当ての更に詳細な方法については、特開平2-236677号公報に記載している。

【0033】上記の決定方法によれば、自動で形状モデルから、直交座標軸に平行な線分のみで構成されることを特徴とした、もとの形状に位相的に等しくかつ幾何的に最も近いモデルを生成することができる。しかし、自動決定の割当て方向に基づいて生成した最終的な要素の配置や形状が、必ずしもシステム使用者の意図に沿った結果であるとは限らない。この決定方法を用いた例と、その問題点とを図11～15に示す。

【0034】図11は、本例に用いる形状モデルである。図に示す形状モデルの各線分の割当て方向を、上記の方法に従って自動で決定した場合、図12に示す認識モデルが生成されたとする。この場合該認識モデル上に直交格子を発生させて写像モデルを生成した後、該写像モデルを形状モデル上に写像した結果の有限要素モデルは図13のようになる。

【0035】これに対し、システム使用者が必要とする要素の配置が図15のようであった場合、自動決定方法のみではその要求に応えることができないという問題があった。すなわち、図14に示す認識モデルが自動的には生成されないためである。本実施例では、この問題を解決するために、図2のシステムを図16に示すように改良した。以下、図16のシステム全体フローチャートに沿って、本実施例の全体手順の流れを説明する。

【0036】(新1) 有限要素法による解析の対象となる形状モデルを設定する(ST9)。

【0037】(新2) 必要であれば、システム使用者がシステムの自動処理に介入し、対話形式で形状モデルの各線分の割当て方向を「拘束」する。拘束データは保存し、認識モデル生成の際に使用する(ST10)。

【0038】(新3) 形状モデルから、直交座標軸に平行な線分のみで構成されることを特徴とした、認識モデルを生成する。このとき、(新2)の拘束条件があるなら、そのデータに基づいて認識モデルを生成し、拘束条件がなければ、基本システムに従って自動で認識モデルを生成する(ST11～12)。

【0039】(新4) (新3)で生成した認識モデルの各線分の割当て方向を、画面上の形状モデルの各稜線に対応させて表示する(ST13)。

【0040】ここで、認識モデルは形状モデルと位相的に等しく、矛盾がないことが大前提である。(新3)で認識モデルを生成する際、この形状モデルとの位相的同等性を維持できない方向に割り当てられた線分が存在するために認識モデルを生成できない場合、該当線分をハイライト表示し、同時にエラーの種類を知らせるメッセージを画面上に表示する(ST14)。

【0041】(新5) (新4)でハイライト表示された線分がある場合、線分の割当て方向情報と、同じく(新4)で表示されたエラーメッセージとを参考に、シス

テム使用者がシステムの自動処理に介入し、対話形式で形状モデルの各線分の割当て方向を「指定」し、認識モデルを生成できるように修正する(ST15)。

【0042】ハイライト表示される線分がなくなり、システム使用者の割当て方向を修正する要求がなくなるまで、(新3)～(新5)の手順を繰り返す。

【0043】(新6) システム使用者が入力した分割情報に基づき、(新2)～(新5)の手順に従って生成された認識モデルを、単位要素長さの整数倍の線分のみから構成されるように微調整した後、認識モデルに直交格子を発生させて写像モデルを生成する(ST16)。

【0044】(新7) 前記(新6)で求めた写像モデルの境界の格子と形状モデルの境界の格子との対応関係から形状モデル内部に格子を発生させ、有限要素メッシュモデルを生成する(ST17)。

【0045】システム使用者は、(新7)で画面上に表示された有限要素メッシュモデルを確認して、さらに線分の割当て方向を変更して認識モデル形状を変えたい場合、(新5)と同様に、(新4)で表示された割当て情報を参考に線分の割当て方向を変更することができる。システム使用者からの要求がなくなるまで(新4)～(新6)を繰り返す(ST18)。

【0046】図17は、上記の(新2)における線分の割当て方向の拘束の例と、(新5)における線分の割当て方向の指定の例を示す図である。ここで、線分の割当て方向の拘束とは、図17(a)の線分17a1と17a2に示すように同じ方向に割り当てたい線分を指定することで、システム使用者が対になる線分はどれどれであるかを指定する。一方、線分の割当て方向の「指定」とは、(新4)によって明示されている各線分の割当て方向情報を参考に、選択線分を具体的に各座標軸のいずれの方向に割り当てるかを指定する。方向拘束によって図17(a)左に示した形状モデルの認識モデルを右のようにしたい場合、線分17a1と17a2を選択して、方向を示す値を1つ入力する。同様に方向指定によって図17(b)左に示した形状モデルの認識モデルを右のようにしたい場合、線分17b1と線分17b2を選択してx方向を示す値を入力し、線分17b3を選択してy方向を示す値を入力することによって、右の認識モデルが生成できるようになる。

【0047】本実施例を実現する手段として、CRTディスプレイとマウスとキーボードとから構成されるワークステーション上で実現するための操作手順を図18を用いて説明する。

【0048】(操作1) システム使用者が作成した形状モデルを、CRTディスプレイの画面上(図18a)に表示する(新1対応)。

【0049】(操作2) 形状モデルの割当て方向を拘束したい線分を、マウス(18b)を使ってアイコン(18a1)を移動させ、マウス(18b)のボタン(18

b 1) を押下することによって選択し（以下「ピックする」と呼ぶ）、選択線分の割当て方向を拘束する。図18に示す例の場合、画面に表示された図11と同一の形状モデル（18a2）の同じ方向に割り当てる線分18a21と18a22をピックし、x, y, z軸いずれかの方向をキーボード（18c）から入力する。以下、断りがないかぎり、x, y, z軸は、写像空間における軸を表す。このとき、軸方向の指定方法は、x, y, zを入力する形でも1, 2, 3を入力する形でもよい。選択線分は1本以上複数本選択できるものとする（新2対応）。

【0050】（操作3）（操作2）の条件またはシステム自動決定の線分割当方向に基づき、認識モデルを生成する。生成過程で、決定済みの各線分の割当方向を前出の形状モデル（18a2）構成線分上に重ねる形で、x軸方向の線分は赤、y軸方向の線分は青、z軸方向の線分は黄のように色別表示する。このとき、同時に各線分の割当方向を各線分近辺にx, y, zや1, 2, 3等の文字で表示しても、線種を変えてもよい。

【0051】図18a2の形状モデルにおいて、線分18a21がx軸方向、線分18a22がy軸方向にそれぞれ割り当てられた場合、線分18a21は赤色で、線分18a22は青色で再表示されることになる。

【0052】更に、認識モデルを生成できない原因となる線分が存在する場合には、該当線分を他の線分より太く表示して、システム使用者に線分の割当方向修正を促す。図19に例を示す。画面上に表示された形状モデル（19a1）から認識モデルを生成しようとしたとき、1つのループ（19b1）の隣接する線分19b2と19b3が同方向逆向きに割り当てられてしまうと、ループを構成できず、認識モデルが生成できない。このような場合、エラーループ（19b1）を構成する全線分を、図19（b）に示すように割当方向情報に基づいて、上記と同様の配色で他の線分に比べ太く色別表示する。このときエラー線分であることをシステム使用者に知らせる手段としては、太さを変えるだけでなく、点滅させたり、線種を変えたり、色を変えたり、矢印で示したりしてもよい。同時に、その線分がエラーとして太く表示された理由を図19b4にしめすようにメッセージ表示する。エラーの種類としては、上記の他に「ループ内の線分の割当方向が、全て同じである。」、「ループ内の線分の割当方向が、一線分だけ異なる。」、「ループ内にx, y, zの3軸方向が混在する。」等が考えられる。

【0053】システム使用者は、位相的に形状モデルと等しく、矛盾のない認識モデルを生成できるようにするために、割当方向を変更したい線分を（操作2）と同様にピックして、キーボードから変更指定方向を入力する（新3～5対応）。

【0054】（操作4）以上の操作により生成した認識モデルから有限要素モデルを生成し、該有限要素モデル

（20b）を画面上に表示する。このとき、図20に示すように、形状モデル（20a）に表示した各線分の割当方向も同時に画面上に表示しておく。（操作5）システム使用者は、生成された有限要素形状を確認し、要求に合わない部分がある場合は、メニュー画面内に表示されたコマンドを選択したり、自分でコマンドを入力したりすることによって（操作3）に戻り、再度線分の割当方向を変更し、変更後の認識モデルを対象として有限要素モデルを生成し直すことができる。

10 【0055】尚、（操作3）において線分の割当方向を色別表示したり、エラー線分を太く色別表示したりする部分は、図21に示すようなメニュー形式で選択できるようにもよい。

【0056】上述のような、システムへのシステム使用者介入方法と同様の手順は、認識モデルの生成段階のみでなく写像モデルの生成段階初め、システム内の各段階において適用可能であり、各段階ごとに有限要素メッシュの生成を制御することができる。

20 【0057】以上の機能を追加して、認識モデルの形状を制御できるようにすることにより、前出の図13から図15への要素の配置変更が可能となる。図13の有限要素モデルを図15のように変更するには、認識モデル及び写像モデルの形状を図12から図14へと変更すればよい。この場合、上記手順（操作2）の処理過程において、図11に示す形状モデルの線分11a～11hの割当方向を同じ方向に拘束することによって図14に示す認識モデルを生成することが可能となり、システム使用者が必要とする有限要素モデルを生成できる。

30 【0058】図22～図26には別の例として、要素の歪みを減少させる実施例を示す。図22の形状モデルに対し基本の自動要素生成システムを適用すると、線分22a、22bを境に90°方向が変わり、図23のようなL字形の認識モデルが生成される。認識モデルに基づいて有限要素モデルを生成すると、図24のようになり24aに示す部分の要素歪みが大きくなる。この歪みを小さくする一方法としては、前出の例と同様に（操作2）で図23中の線分23a～dを全て $\xi$ 軸方向に割り当てるよう拘束すればよい。そこで、線分23a～dの割当方向を全て $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$ 軸で構成される写像空間の $\zeta$ 軸方向に拘束する。その結果、線分23a～dが図25中の線分25a～dの方向に割当修正されたI字形の認識モデルを生成することが可能となり、歪みを小さくした図26の有限要素モデルを生成できる。

40 【0059】上記の図13から図15への有限要素モデルの変更と、図24から図26への有限要素モデルの変更の2つの例は、1度自動生成された要素の配置や形状を最適化する変更への適用例である。

【0060】一方、図19、図20で示した、自動要素生成システムの線分方向割当決定段階で形状モデルとの位相的同等性が維持できなくなり、認識モデルが生成

できず有限要素モデルを生成できないモデルに適用して割当て方向を修正する場合の例の詳細を以下に述べる。

【0061】図27の形状モデルに対し、基本システムを適用して各線分の方向割当てを行うと、形状モデルの線分27a1と27a2が同じx軸方向で逆向き方向に割り当てられようとするため、認識モデル生成過程でループ27aの形状が構成できず、認識モデルを生成できない。

【0062】この場合、上記手順（操作4）によって、エラー原因であるループ27aがハイライト表示され、方向が色別表示されるため、この情報に基づき、システム使用者が（操作5）で線分27a1の割当て方向を図28の28a1のようにx軸方向からy軸方向（ $\theta, \eta$ ,  $\zeta$ 軸で構成される写像空間の場合 $\zeta$ 軸方向から $\eta$ 軸方向）へ指定し直すことによって、図28のループ28aを構成できるようになり、認識モデルの生成が可能となる。以上のように生成した図28の認識モデルに基づけば、図29に示す有限要素モデルを生成できる。

【0063】本実施例の数値解析用メッシュ生成法では有限要素法を用いているため、生成メッシュが解析対象となる形状に即して規則的に並び、歪みが小さい整った要素形状となる。また、六面体要素のみのメッシュであるため、解析精度も高い。

【0064】尚、本実施例においては、有限要素法に用いた例を示したが、本願発明は有限要素法に限らず、差分法、有限体積法、境界要素法等他の数値解析に用いるメッシュの配置を制御する方法に用いることも可能である。

#### 【0065】

【発明の効果】解析対象となる3次元形状モデルに、写像法によって自動でメッシュを生成する過程で生成される、形状モデルの稜線を直交座標系のいずれかの座標軸方向に割り当てる近似形状である認識モデルの稜線割当て方向を、システム使用者が事前に拘束したり、稜線割当て方向の自動決定途中や決定後に割当て方向をシステム使用者が変更することにより、認識モデルの形状を制御し、生成されるメッシュの配置や形状を制御することが可能となるため、精度よく解析するためのメッシュを効率的に生成できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】実施例のシステム構成図である。

【図2】基本となる従来の自動メッシュ生成方法の全体フローチャート図である。

【図3】解析対象となる3次元形状モデルの例を示す説明図である。

【図4】図3の形状モデルから自動生成される認識モデル図である。

【図5】図4に直交格子を自動生成した写像モデル図である。

【図6】図5の写像モデルに基づいて自動生成された有

限要素メッシュモデル図である。

【図7】認識モデルを自動生成するまでのフローチャート図である。

【図8】認識モデル生成のための曲面複数平面近似の例を示す図である。

【図9】稜線、面の割当て方向決定に使用するメンバシップ関数を示す図である。

【図10】隣接する2線分のなす角度を説明する図である。

10 【図11】線分割当て方向の拘束を説明するための形状モデル例の図である。

【図12】図11の形状モデルから自動生成される認識モデルの図である。

【図13】図12の認識モデルに基づいて自動生成された有限要素モデルである。

【図14】図11の形状モデルから生成できる、図12とは線分割当て方向が異なる認識モデルの図である。

【図15】図14の認識モデルに基づいて自動生成された有限要素モデルである。

20 【図16】ユーザ介入型有限要素メッシュ制御方法のフローチャート図である。

【図17】線分方向割当ての拘束と指定の違いを説明する図である。

【図18】線分方向割当ての修正を実現する方法を説明する図である。

【図19】従来システムで線分方向割当てに失敗して認識モデルが生成できない場合の状態を示す図である。

【図20】線分割当て方向修正後の有限要素モデル表示状態を示す図である。

30 【図21】線分割当て方向表示情報を選択するためのメニューを示す図である。

【図22】線分割当て方向の拘束効果を説明するための形状モデル例の図である。

【図23】図22の形状モデルから自動生成される認識モデルの図である。

【図24】図23の認識モデルに基づいて自動生成された歪みの大きい有限要素モデルである。

【図25】図22の形状モデルから生成できる、図23とは線分割当て方向が異なる認識モデルの図である。

40 【図26】図25の認識モデルに基づいて自動生成された歪みの小さい有限要素モデルである。

【図27】線分割当て方向を決定できず、認識モデルを生成できない形状モデルの例を示す図である。

【図28】線分割当て方向を修正後に生成された認識モデルの図である。

【図29】図28の認識モデルに基づいて自動生成された有限要素モデルである。

#### 【符号の説明】

18…CRTディスプレイ、18a1…アイコン、18

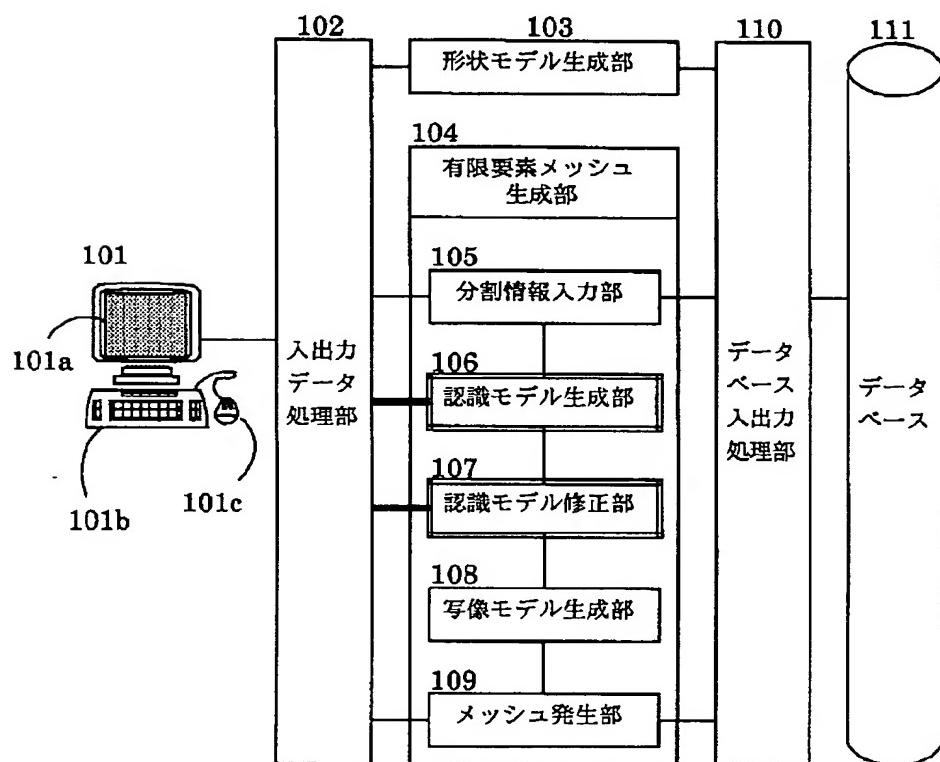
b…マウス、18b1…ボタン、101…入出力装置、

15

101a…CRTディスプレイ、101b…キーボード、101c…マウス、102…入出力データ処理部、103…形状モデル、104…有限要素メッシュ生成部、105…分割情報入力部、106…認識モデル生成部、107…認識モデル修正部、108…写像モデル生成部、109…メッシュ発生部、110…データベース入出力処理部、111…データベース。

【図1】

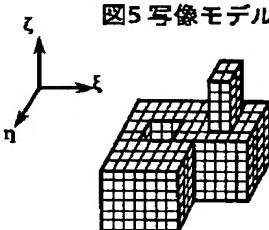
図1 システム構成図



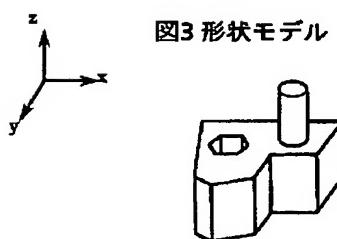
16

【図5】

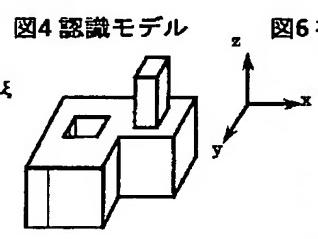
図5 写像モデル



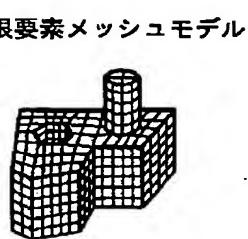
【図3】



【図4】

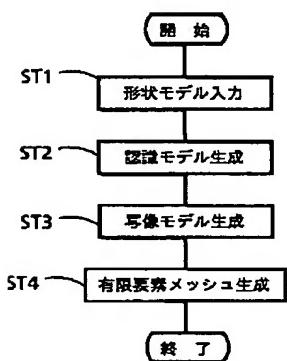


【図6】



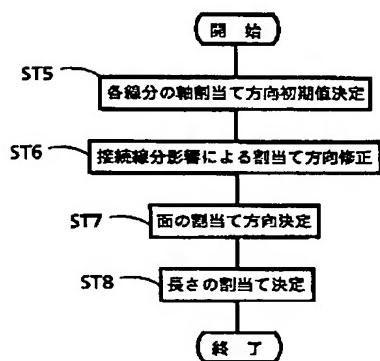
【図2】

図2 基本有限要素メッシュ生成方法のフローチャート



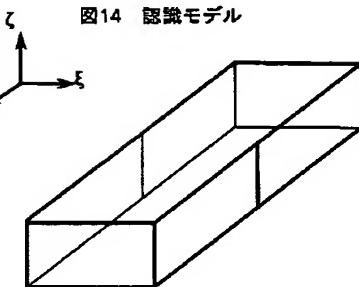
【図7】

図7 認識モデル生成方法のフローチャート



【図14】

図14 認識モデル

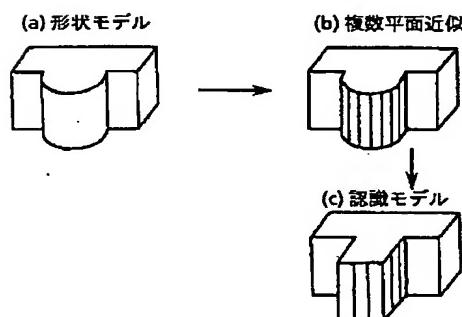


【図22】

図22 形状モデル

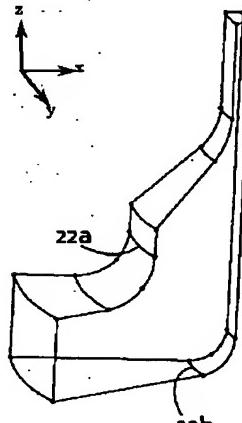
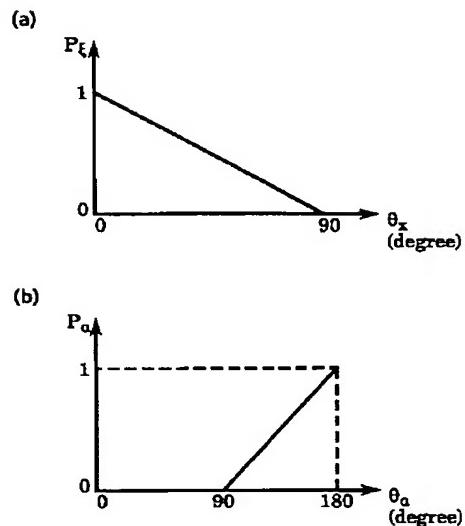
【図8】

図8 曲面の複数平面近似



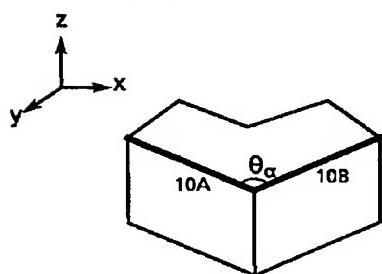
【図9】

図9 メンバシップ関数



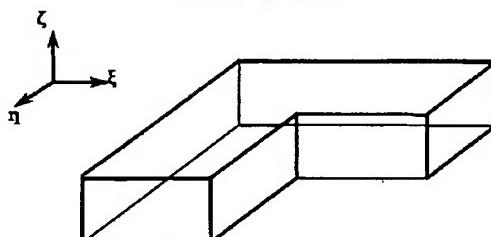
【図10】

図10 隣接する2線分のなす角度

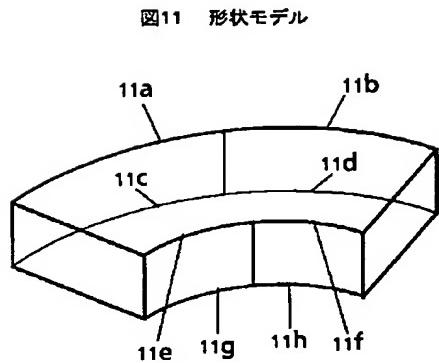


【図12】

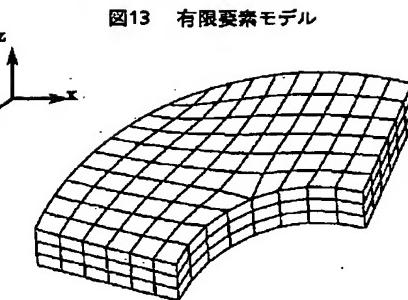
図12 認識モデル



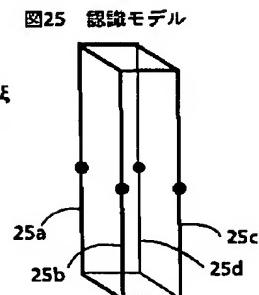
【図11】



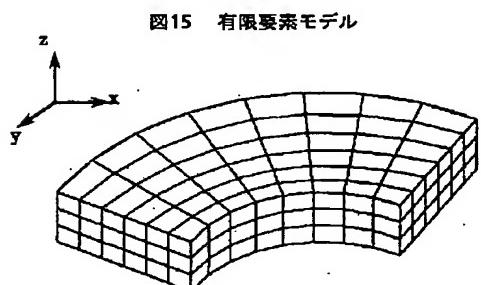
【図13】



【図25】



【図15】



【図23】

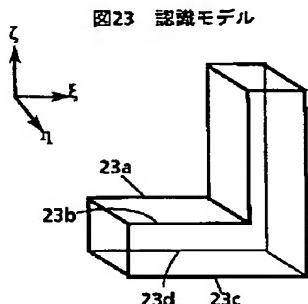
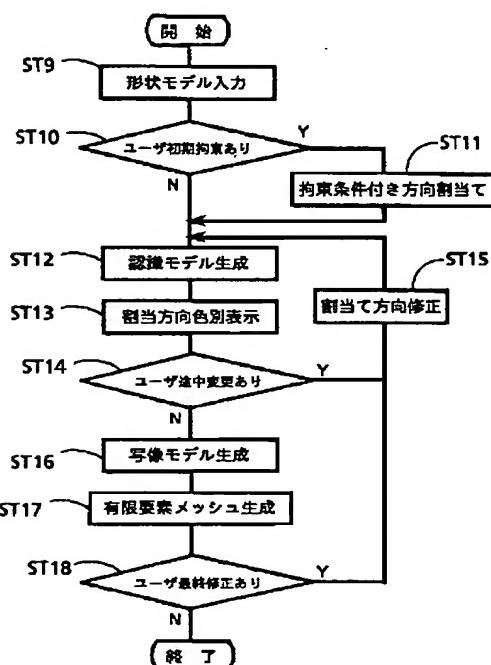
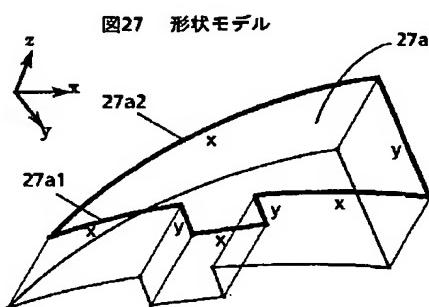


図16 対話型操作による有限要素メッシュ制御方法のフローチャート



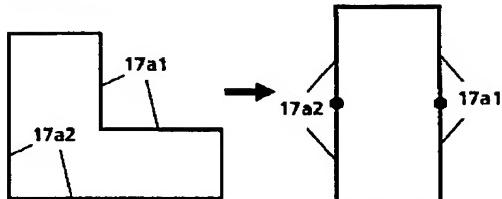
【図27】



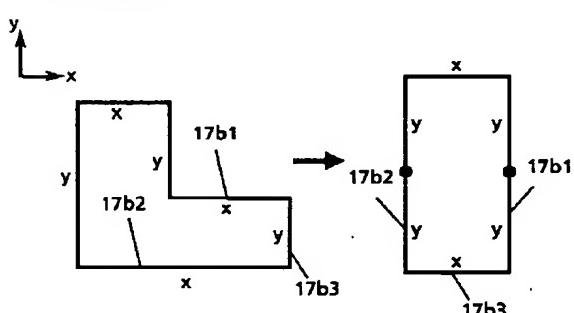
【図17】

図17 方向拘束と方向指定

## (a) 方向拘束

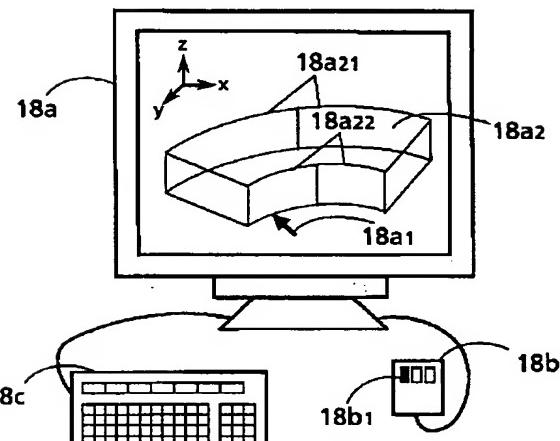


## (b) 方向指定



【図18】

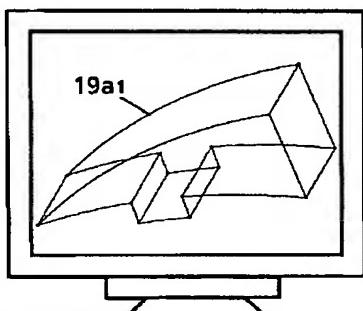
図18 方向割当て修正方法



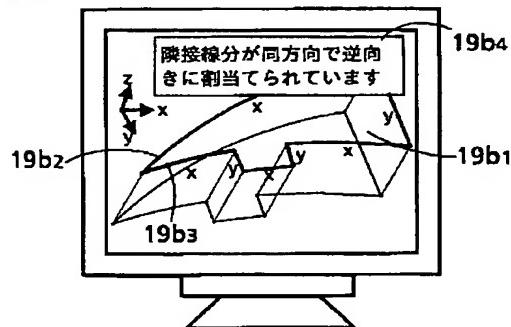
【図19】

図19 認識モデル生成失敗の例

## (a) 形状モデル

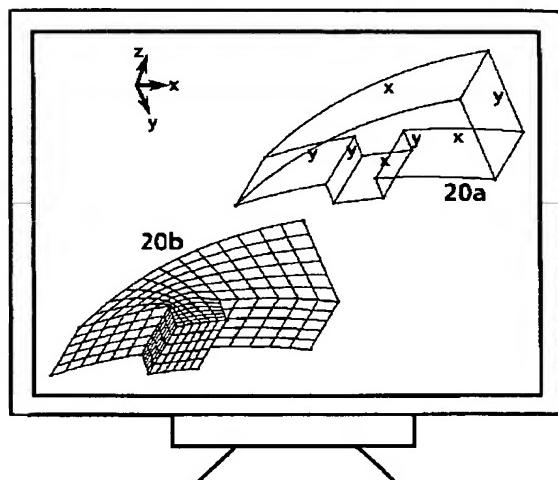


## (b) 認識モデル生成失敗



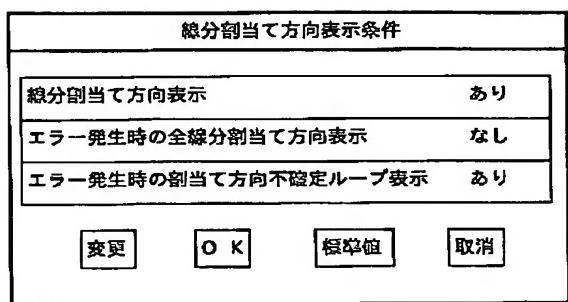
【図20】

図20 修正後割当て方向と有限要素モデル



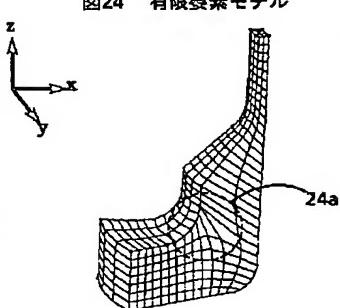
【図21】

図21 線分割当て方向表示形式選択メニュー



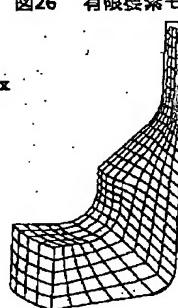
【図24】

図24 有限要素モデル



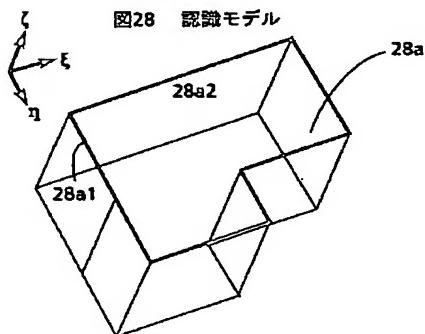
【図26】

図26 有限要素モデル



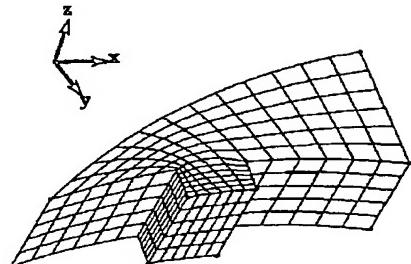
【図28】

図28 認識モデル



【図29】

図29 有限要素モデル



フロントページの続き

(72)発明者 星野 圭子

神奈川県横浜市戸塚区戸塚町5030番地 株  
式会社日立製作所ソフトウェア開発本部内

(72)発明者 青山 ひろみ

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日  
立製作所機械研究所内

(72)発明者 小野寺 誠

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日  
立製作所機械研究所内